

19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Pat ntschrift
10 DE 198 03 206 C 1



51 Int. Cl.⁶:
C 07 F 5/02
A 61 K 41/00
A 61 K 49/04

21 Aktenzeichen: 198 03 206.4-44
22 Anmeldetag: 28. 1. 98
43 Offenlegungstag: -
45 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 17. 6. 99

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:
Deutsches Krebsforschungszentrum Stiftung des
öffentlichen Rechts, 69120 Heidelberg, DE

74 Vertreter:
Patentanwälte Dr. Bernard Huber, Dr. Andrea
Schüßler, 81825 München

72 Erfinder:
Wießler, Manfred, Prof. Dr., 67227 Frankenthal, DE;
Tröster, Helmut, Dr., 68165 Mannheim, DE; Raddatz,
Stefan, 69115 Heidelberg, DE; Spieß, Eberhard,
Prof. Dr., 63526 Ladenburg, DE; Trendelenburg,
Michael, Prof. Dr., 69221 Dossenheim, DE

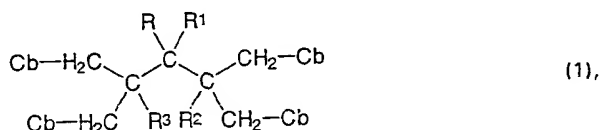
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

US 51 16 980
EP 07 00 918 A1
WO 95 26 353
WO 94 28 875

Angew. Chem. 1996, 108, S. 970-3;
Angew. Chem. 1994, 106, S. 701-3;

54 Bor-haltige Verbindungen, Verfahren zu deren Herstellung und deren Verwendung für die energiefilternde
Transmissionselektronenmikroskopie und für die Bor-Neutroneneinfangtherapie

57 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Bor-haltige Ver-
bindung, die die folgende allgemeine Formel (1) aufweist,



in der

Cb für ein Carboran,
R² und R³ unabhängig voneinander für ein Wasserstoffat-
om oder einen organischen Rest und
R und R¹ unabhängig voneinander für ein Wasserstoffat-
om oder eine organische Gruppe stehen oder R und R¹
mit dem Kohlenstoffatom, an das sie gebunden sind, eine
Carbonylgruppe bilden.

Weiter betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Herstellen
einer Bor-haltigen Verbindung sowie die Verwendung ei-
ner solchen.

DE 198 03 206 C 1

DE 198 03 206 C 1

Beschreibung

Die Erfindung betrifft Bor-haltige Verbindungen, deren Herstellung und deren Verwendung für die energiefilternde Transmissionselektronenmikroskopie und für die Bor-Neutroneneinfangtherapie.

Es ist bekannt, Bor-haltige Verbindungen mit der energiefilternden Transmissionselektronenmikroskopie (EFTEM) nachzuweisen.

Beispielsweise beschreibt Qualmann B. et al., Angew. Chem., 1996, 108, Seiten 970 bis 973 die Synthese Bor-haltiger Lysindendrimere zur Proteinmarkierung in der Elektronenmikroskopie. Die in dieser Veröffentlichung beschriebene Bor-haltige Verbindung zur Markierung von Proteinen ist wegen ihrer großen Ausdehnung zur Markierung von kleinen biologischen Molekülen, z. B. Oligonukleotiden, ungeeignet, da die Stoffeigenschaften solcher kleiner biologischer Moleküle zu stark verändert werden. Außerdem ist die Bor-Dichte durch die große Ausdehnung der Verbindung und durch die Anordnung der 1,2-Dicarbadodecaboran-Fragmente (Carborane) in der äußersten Sphäre des Moleküls sehr gering. Der Einzelnachweis dieser Verbindung mit EFTEM ist deswegen nicht befriedigend möglich. Desweiteren hat die beschriebene Verbindung ein peptidisches Grundgerüst mit L-Lysin als Bausteine, so daß sie für einen enzymatischen Abbau anfällig ist.

Die Publikation von Newkome G. R. et al., in Angew. Chem. 1994, 106, Seiten 701 bis 703 beschreibt unimolekulare Micellen, die 4 bzw. 12 Carborane im Inneren der Micellen sowie hydrophile Gruppen an der Oberfläche der Micellen enthalten. Diese unimolekularen Micellen sind ebenfalls zu groß. Außerdem existiert keine Bindungsstelle für die Ankopplung eines Spacers zur Anbindung an Biomoleküle, wie Oligonukleotide und Proteine.

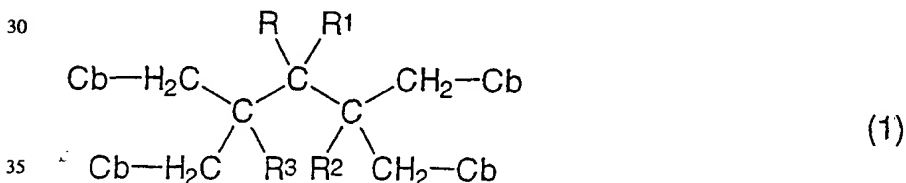
Daher war es bisher nicht möglich, kleine biologisch wirksame Substanzen, wie Oligonukleotide, für den Nachweis durch die EFTEM durch einen kovalent zu bindenden Bor-haltige Verbindung zu markieren.

Ferner ist es bekannt, borhaltige Verbindungen in der Bor-Neutroneneinfangtherapie einzusetzen, wobei es noch nicht gelang, ausreichend hohe Bor-Konzentrationen selektiv in das Tumorgewebe einzubringen.

Somit liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Verbindung bereitzustellen, die nicht die Nachteile des Standes der Technik aufweist.

Erfindungsgemäß wird dies durch die Gegenstände in den Patentansprüchen erreicht.

Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Bor-haltige Verbindung, die die folgende allgemeine Formel (1) aufweist,



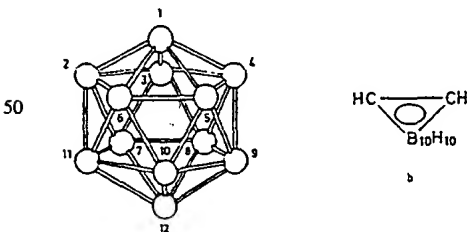
in der

Cb für ein Carboran,

R^2 und R^3 unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom oder einen organischen Rest und

R und R^1 unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom oder eine organische Gruppe stehen oder R und R^1 mit dem Kohlenstoffatom, an das sie gebunden sind, eine Carbonylgruppe bilden.

Der Ausdruck "Carboran" umfaßt Verbindungen jeglicher Art, die die Summenformel $\text{B}_{10}\text{C}_2\text{H}_{12}$ aufweisen. Die Carborane können drei Isomere bilden: 1,2-Dicarba-closo-dodecaboran(12), 1,7-Dicarba-closo-dodecaboran(12) und 1,12-Dicarba-closo-dodecaboran(12), die auch als ortho-, metha- und para-Carboran bezeichnet werden. Von diesen Isomeren ist das 1,2-Dicarba-closo-dodecaboran(12) bevorzugt, das wie folgt symbolisiert wird:



Durch die beiden Kohlenstoffatome weisen die Carborane zwei mögliche Bindungsstellen mit anderen Verbindungen auf. Durch die Verknüpfung der vier Carborane mit dem in der Formel (1) angegebenen Kohlenwasserstoffgerüst ist eine Bindungsstelle des Carborans besetzt. Die zweite Bindungsstelle kann nun zum Anbinden von Spacern und/oder Löslichkeitsmodulierenden Verbindungen verwendet werden.

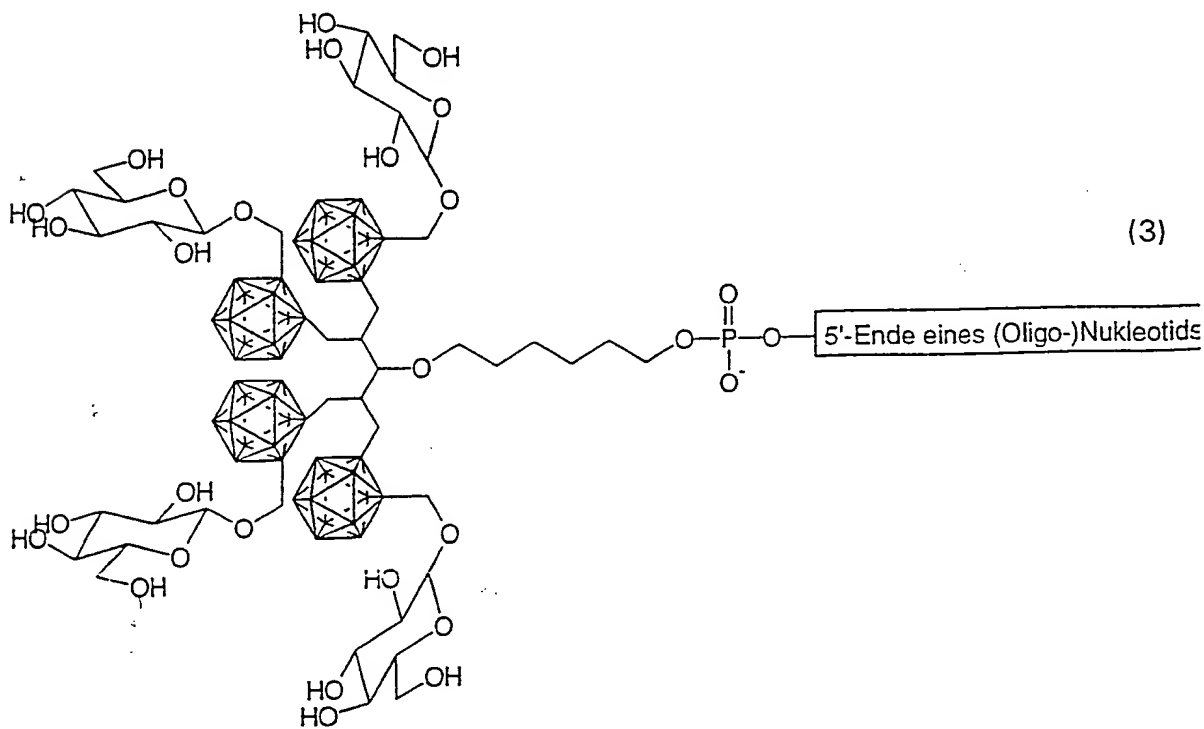
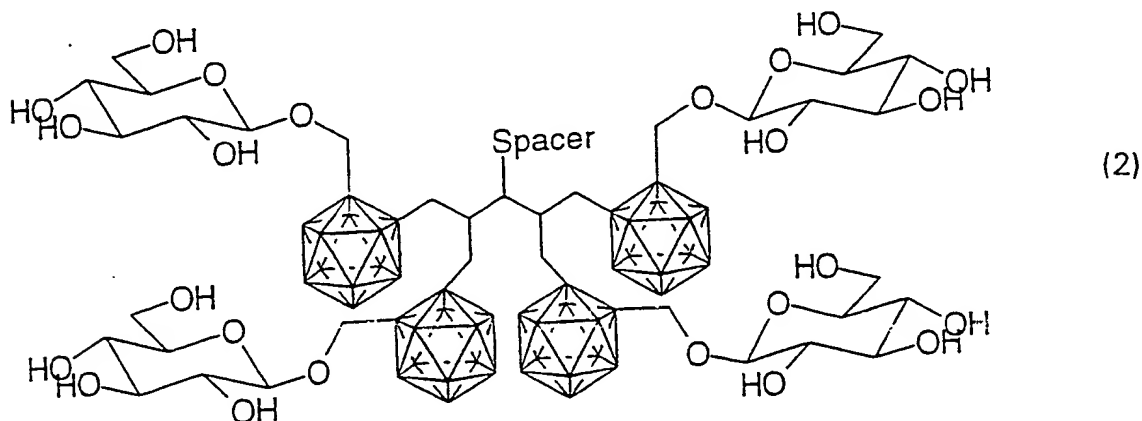
Der Ausdruck "Spacer" umfaßt Verbindungen jeglicher Art, die zur Verknüpfung, insbesondere zur kovalenten Verknüpfung, der erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindung mit anderen Molekülen, z. B. mit biologischen Molekülen, eingesetzt werden können. Solche Verbindungen sind dem Fachmann bekannt. Vorzugsweise handelt es sich um von C2 bis C10 Alkane, insbesondere C6 Alkane abgeleitete Verbindungen, die vorzugsweise linear sind und die ggf. Etherbrücken aufweisen oder über eine solche an das Carboran gebunden sein können. Der Ausdruck "biologische Moleküle" weist darauf hin, daß es sich um für biologische Prozesse relevante Moleküle jeglicher Art handelt. Beispiele sind Proteine, Nukleotide, wie Mono-, Oligo-, und Polynukleotide, Nukleoside, Nukleosiddiphosphate und Nukleosidtriphosphate. Von den Proteinen sind solche bevorzugt, die sich in Tumoren anreichern, wie Albumin.

Bei den "löslichkeitsmodulierenden Verbindungen" handelt es sich um Verbindungen jeglicher Art, die die Löslichkeit

der erfindungsgemäßen Verbindung in einem Lösungsmittel, insbesondere Wasser oder einem wäßrigen Lösungsmittel, erhöhen oder erniedrigen. Zur Erhöhung der Wasserlöslichkeit können die löslichkeitsmodulierenden Verbindungen mindestens eine polare Gruppe, wie eine Hydroxylgruppe, aufweisen. Beispiele dafür sind $-\text{CH}_2\text{OH}$ und Polyhydroxyverbindungen, wie Inositol oder Saccharide, insbesondere Monosaccharide, vorzugsweise Glucose. Wegen der hohen Lipophilie der Carborane und des Kohlenwasserstoffgerüsts ist die Anbindung löslichkeitsmodulierender Verbindungen für die Erhöhung der Wasserlöslichkeit der Bor-haltigen Verbindung günstig.

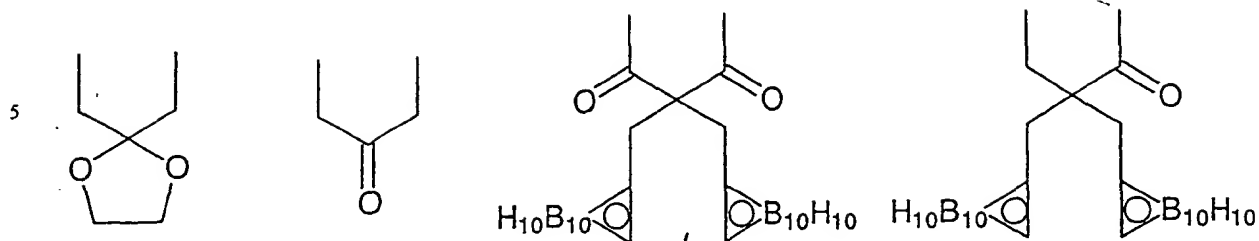
Durch die Verwendung von Kohlenhydraten, insbesondere Glucose, Galactose, Xylose, Fucose oder auch Gentobiose, kann weiterhin die Tumorselektivität der erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindung erhöht werden.

Beispiele von Verbindungen, bei denen an die Carborane Glucose gebunden ist, sind die in den Formeln (2) und (3) dargestellten Verbindungen.



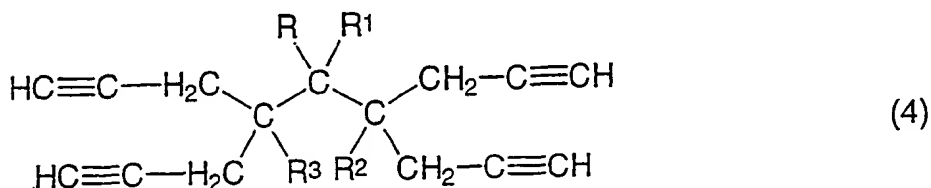
Auf diese Weise werden kleine lipophile Molekülkerne erhalten, in denen die gesamte Bormenge konzentriert ist, so wie eine hydrophile Molekülhülle, die die Wasserlöslichkeit der Bor-haltigen Verbindung und ggf. die Tumorselektivität erhöht. Insgesamt wird somit eine unimolekulare Micelle erhalten.

In der erfindungsgemäßen Verbindung stehen die Substituenten R^2 und R^3 unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom oder einen organischen Rest. Der Ausdruck "organischer Rest" umfaßt organische Verbindungen jeglicher Art, die Kohlenstoff, Wasserstoff und ggf. Sauerstoff, Schwefel, Phosphor und Bor umfassen. Beispiele hierfür sind die Gruppen $-\text{NO}_2$, $-(\text{C}=\text{O})$, $-\text{C}\equiv\text{N}$, Phenyl- und $-\text{COOR}^4$, wobei R^4 z. B. für einen Alkylrest, wie Ethyl, steht. R^2 und R^3 können auch miteinander verbunden sein, d. h. die für R^2 und R^3 stehenden Reste werden so gewählt, daß sie mit den Kohlenstoffatomen, an die sie direkt gebunden sind, sowie dem die Reste R und R^1 aufweisenden Kohlenstoffatom einen Ring, vorzugsweise einen 6-gliedrigen Ring, bilden. An den Ring können weitere Carborane gebunden werden, so daß die Gesamtzahl der Carborane in der erfindungsgemäßen Verbindung erhöht wird, z. B. auf 6. Beispiele für R^2 und R^3 zur Ausbildung eines 6-gliedrigen Rings sind:



Die Substituenten R und R¹ stehen in der erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindung unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom, eine organische Gruppe oder R und R¹ bilden zusammen mit dem Kohlenstoffatom, an das sie gebunden sind, eine Carbonylgruppe. Die organische Gruppe kann jede Kohlenstoff, Wasserstoff und ggf. Sauerstoff, Schwefel, Phosphor und Bor enthaltende Verbindung sein. Beispielsweise ist die Gruppe eine über ein Ether-Brücke gebundene C2 bis C10, insbesondere C6, Alkyl-Gruppe. An die Alkylgruppe, insbesondere an deren Ende, kann eine Phosphatgruppe (PO₄³⁻) gebunden sein. Die Phosphatgruppe kann mit einem biologischen Molekül, wie einem Poly-, Oligo- oder Mononukleotid, verbunden sein, vorzugsweise an deren 5'-Enden. Ein Beispiel einer solchen für R bzw. R¹ stehenden organischen Gruppe ist in der vorstehenden Formel (3) dargestellt.

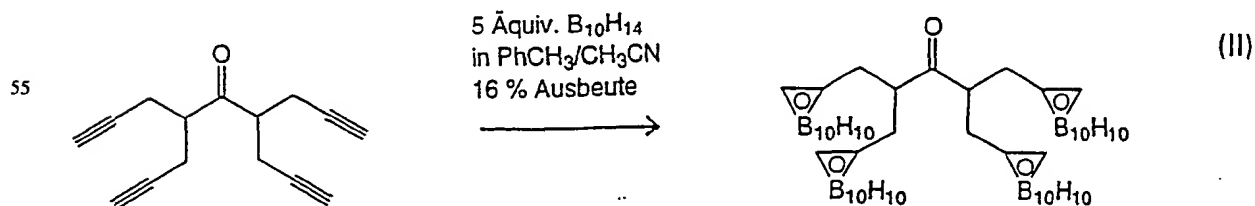
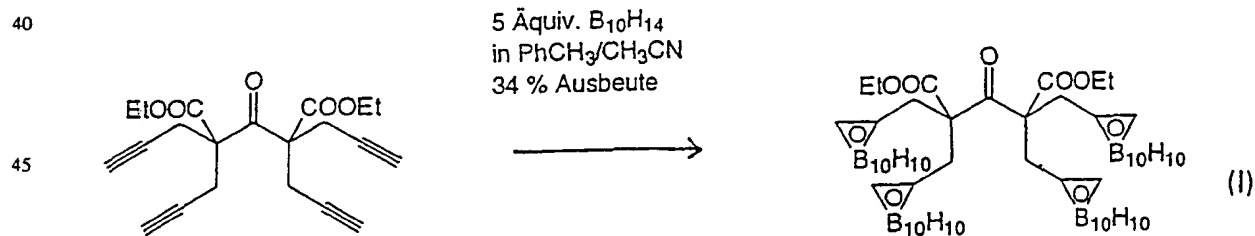
Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindungen, bei dem ein Decaboran (14) mit einem Alkin der Formel (4) umgesetzt wird.

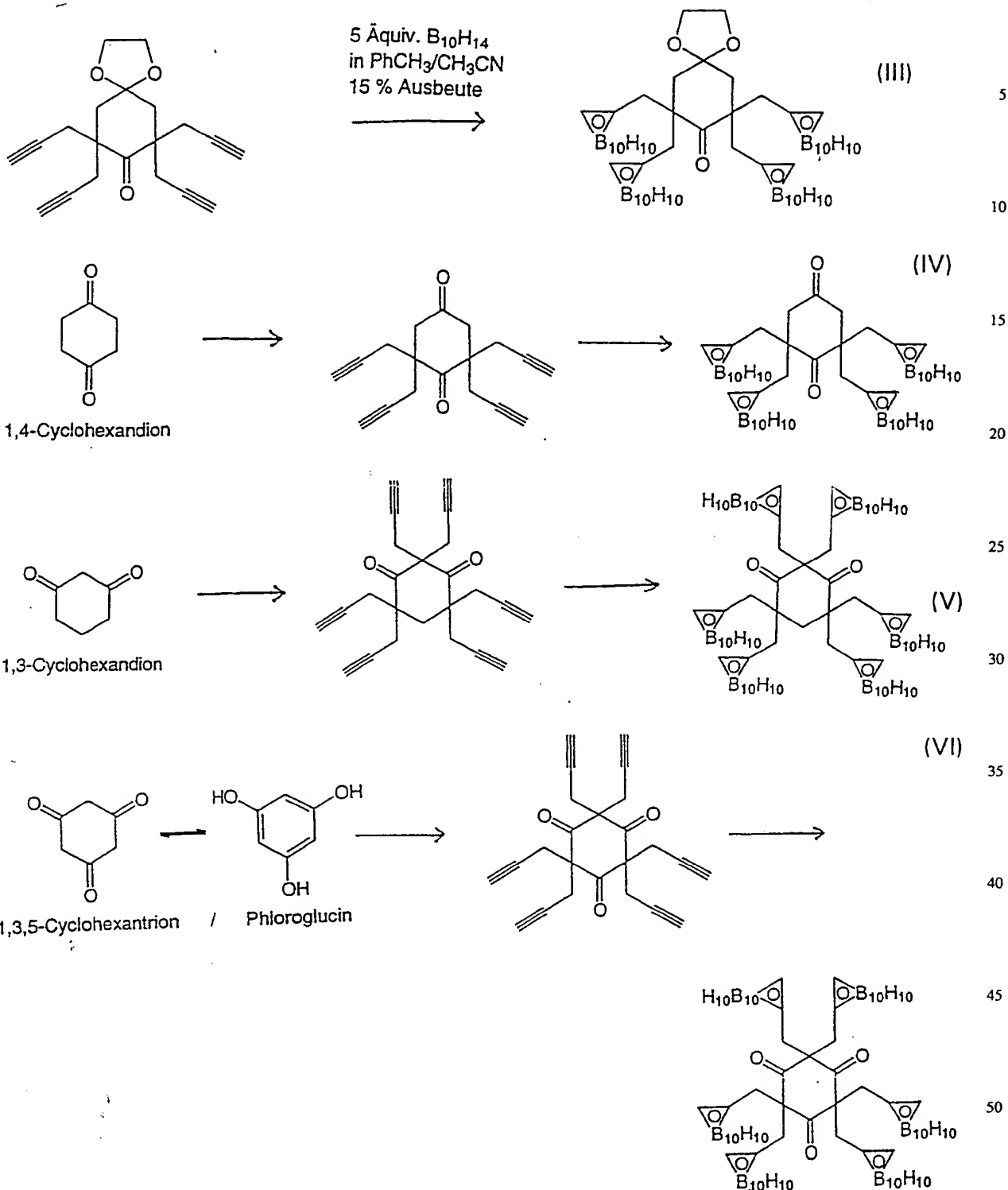


Bei einem Decaboran handelt es sich um eine Verbindung mit der Summenformel B₁₀H₁₄, die sich von den vorstehend beschriebenen Carboranen dadurch unterscheidet, daß u. a. die zwei Kohlenstoffatome nicht vorliegen. Diese werden durch die zwei Kohlenstoffatome der Alkin-Bindung eingebracht.

Überraschenderweise wurde gefunden, daß diese Umsetzung auch dann möglich ist, wenn mindestens vier Carborane trotz der sterischen Hinderung an ein sehr kleines Kohlenwasserstoffgrundgerüst gebunden werden. Desweiteren wurde festgestellt, daß überraschend hohe Ausbeuten erhalten werden, wenn sich in β-Stellung zur Alkin-Gruppe eine Carbonylgruppe befindet. Die Carbonylgruppe kann, falls es erforderlich ist, in üblicher Weise geschützt und nachfolgend, ebenfalls in bekannter Weise, entschützt werden.

Beispiele dieser Umsetzung sind in den Reaktionsgleichungen (I) bis (VI) dargestellt:

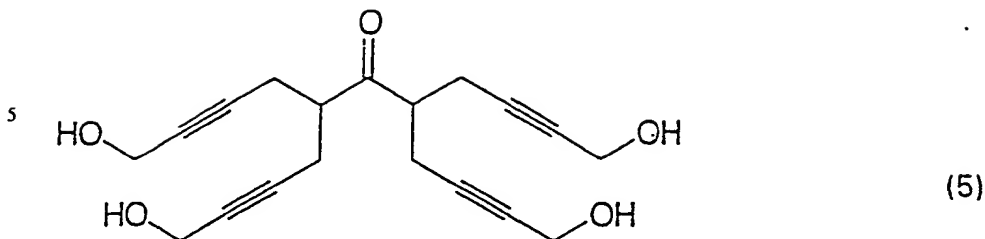




Die Alkinverbindungen können in dem Fachmann bekannter Weise aus CH-aciden Carbonylverbindungen hergestellt werden. Dies geschieht beispielsweise mittels C-Alkylierung von Enolaten von Estern oder Ketonen, die durch Deprotonierung durch geeignete Basen, wie z. B. wäßrige Natronlauge unter Phasentransferkatalyse oder Natriummethylat in Methanol erzeugt werden können und mit einem Proparylhalogenid, wie z. B. Proparylbromid, abreagieren.

Die erhaltenen erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindungen bieten pro Carboran eine weitere Position zur Einführung der bereits vorstehend erwähnten Spacer oder löslichkeitsmodulierenden Verbindungen, wie Saccharide, insbesondere Glucose. Die Carbonylgruppe(n) kann (können) nachfolgend zur Anbindung eines vorstehend beschriebenen Spacers und damit zur Kopplung an biologische Moleküle und löslichkeitsmodulierende Verbindungen verwendet werden. Hierzu kann die Carbonylgruppe zum Alkohol reduziert werden, z. B. mit $LiAlH_4$, gefolgt von der Ausbildung einer Ethergruppe.

Für das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung Bor-haltiger Verbindungen können als Ausgangsverbindungen auch Alkine eingesetzt werden, die bereits Seitenketten für die Ankopplung von biologischen Molekülen, z. B. Sacchariden, aufweisen. Eine solche Ausgangsverbindung ist in der Formel (5) angegeben.



Die Anbindung der biologischen Moleküle kann dabei an die Hydroxylgruppe(n) erfolgen. Es hat sich für diese Reaktion als günstig erwiesen, die vier OH-Gruppen vor der Umsetzung mit dem Decaboran (14) zu schützen und nach der erfolgten Umsetzung zu entschützen. Als Schutzgruppe kann jede für OH-Gruppen bekannte Schutzgruppe, z. B. eine Estergruppe, wie eine Acetatgruppe, eingesetzt werden. Das Entschützen erfolgt in bekannter Weise, abhängig von der verwendeten Schutzgruppe.

Die erfindungsgemäßen Verbindungen weisen eine Reihe von Vorteilen auf: Die räumliche Ausdehnung der erfindungsgemäßen Verbindungen ist sehr gering, so daß Störungen der Eigenschaften der biologischen Moleküle, z. B. der Oligonukleotide, nicht auftreten. Ferner wird durch die Verknüpfung der Carborane durch das enge (kleine) Kohlenwasserstoffgerüst eine hohe Stabilität der Bor-haltigen Verbindung erreicht. Weiterhin ist die erfindungsgemäße Verbindung exakt definierbar und an einem biologischen Molekül eindeutig positionierbar. Außerdem sind die Eigenschaften der Bor-haltigen Verbindungen durch den Spacer und die löslichkeitsmodifizierende Verbindung in großer Breite modifizierbar. Daraus ergibt sich eine vielfältige Verwendbarkeit für die kovalente Bindung an biologische Moleküle, wie Proteine, monomere Nukleosidtriphosphate sowie Oligo- und Polynukleotide, so daß die erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindungen bestens für die energiefilternde Transmissionselektronenmikroskopie geeignet sind. Die erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindungen können auch bestens für die Bor-Neutroneneinfangtherapie zur Behandlung von Tumoren verwendet werden, da zum einen eine ausreichende Bor-Dichte erreicht wird und zum anderen durch eine Verknüpfung mit Sacchariden eine hervorragende Tumorselektivität entweder durch Aufnahme über Glucose-Transporter (GLUT's oder SGLT's) oder durch Lektin-vermittelte Endocytose erzeugt werden kann.

Kurze Beschreibung der Zeichnung:

Fig. 1 zeigt die Herstellung einer erfindungsgemäßen Bor-haltigen Verbindung.

Das folgende Beispiel erläutert die Erfindung:

Beispiel: Herstellung von 2-Allyloxy-1,1,3,3-tetrakis(closo-1,2-dicarbadoecaboranylmethyl)-propan

Das Schema zur Herstellung oben genannter Verbindung ist in Fig. 1 gezeigt

(a) 2,2,4,4-Tetrapropargylacetondicarbonsäuredimethylester

Unter einer Argon-Atmosphäre wurden in trockenem Methanol (Molsieb 3 Å) 238 mg (1,37 mmol) Acetondicarbonsäuredimethylester, 0,90 ml (8,0 mmol) einer 80%igen Lösung von Propargylbromid in Toluol sowie 0,5 ml einer 5,4 molaren (2,7 mmol) Natriummethylat-Lösung in Methanol gelöst. Es wurde 1 h unter Rückfluß erhitzt, anschließend gab man weitere 0,5 ml Natriummethylat-Lösung in Methanol zum Reaktionsgemisch und erhitze weitere 5 h unter Rückfluß. Man ließ abkühlen und versetzte das Reaktionsgemisch mit verdünnter Salzsäure im Überschuß. Es wurde dreimal mit Diethylether extrahiert, die organischen Phasen wurden vereinigt, mit Wasser gewaschen und über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet. Man entfernte das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer und destillierte den Rückstand bei Wasserstrahlvakuum im Kugelrohrföfen. Bei 220°C schied sich ein farbloses Öl im Vorlagekolben ab, das in der Kälte kristallisierte und mittels ¹H- und ¹³C-NMR-Spektroskopie als das gewünschte Produkt identifiziert wurde. Ausbeute: 321 mg (0,985 mmol, 71% der Theorie).

(b) 1,1,3,3-Tetrapropargylacetone

Unter Argon wurden 97,0 mg (0,297 mmol) 2,2,4,4-Tetrapropargylacetondicarbonsäuredimethylester und 343 mg (2,56 mmol) Lithiumiodid in 2,4,6-Collidin 90 min bei 180°C erhitzt. Man ließ abkühlen und gab 5 ml 15%ige Salzsäure zu. Es wurde mit Diethylether überschichtet. Unter kräftigem Rühren gab man solange Wasser zu, bis die wäßrige Phase klar wurde. Die organische Phase wurde abgetrennt, die wäßrige Phase noch dreimal mit Ether extrahiert. Man vereinigte die organischen Phasen und wusch nacheinander mit 5%iger Natronlauge, Wasser und gesättigter Natriumchlorid-Lösung. Es wurde über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet. Am Rotationsverdampfer destillierte man das Lösungsmittel ab, der verbleibende Rückstand erstarrte zu einem farblosen Feststoff. Dieser wurde im Wasserstrahlvakuum destilliert, bei 220°C schieden sich im Vorlagekolben farblose Nadeln ab, die mittels ¹H- und ¹³C-NMR-Spektroskopie als gewünschtes Produkt identifiziert werden konnten. Ausbeute: 38,0 mg (0,180 mmol, 60,6% der Theorie).

(c) 1,1,3,3-Tetrakis(closo-1,2-dicarbadoecaboranylmethyl)-acetone

Unter Argon wurden 177 mg (0,842 mmol) 1,1,3,3-Tetrapropargylacetone, 542 mg (4,44 mmol) Decaboran (14) und 440 mg (10,2 mmol) trockenes Acetonitril in 5 ml trockenem Toluol 16 h bei 80°C erhitzt, anschließend 4 h bei 100°C und abschließend 4 h bei 120°C erhitzt. Man ließ das Heizbad auf 100°C abkühlen. Überschüssiges Decaboran (14) wurde durch Zugabe einer 1/1 (v/v) Mischung aus konzentrierter Salzsäure und Ethanol und 6-stündigem Erhitzen unter Rückfluß vernichtet. Die organische Phase wurde abgetrennt, die wäßrige wurde noch zweimal mit Toluol extrahiert. Die

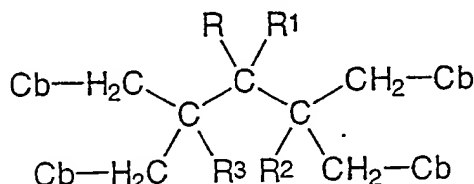
organischen Phasen wurden vereinigt, mit Wasser gewaschen, über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet und am Rotationsverdampfer eingedunstet. Den Rückstand chromatographierte man über Kieselgel mit Petrolether/Essigester im Verhältnis 4/1 und erhielt 87 mg eines farblosen Öls, das in der Kälte kristallisierte. ^1H - und ^{13}C -NMR-Spektrum sowie das ESI-Massenspektrum bestätigten die gewünschte Struktur. Ausbeute: 87,1 mg (0,128 mmol, 15,2% der Theorie).

(d) 2-Allyloxy-1,1,3,3-tetrakis(closo-1,2-dicarbadodecaboranylmethyl)-propan

Unter Argon wurden 5,1 mg Lithiumaluminiumhydrid in trockenem Ether suspendiert und eine Lösung von 21,5 mg (31,5 μmol) 1,1,3,3-Tetrakis(closo-1,2-dicarbadodecaboranylmethyl)-aceton in trockenem Ether zugetropft. Man ließ 30 min bei Raumtemperatur rühren und erhitze anschließend 1 h unter Rückfluß. Man ließ abkühlen und vernichtete überschüssiges Lithiumaluminiumhydrid durch tropfenweises Zugabe von Wasser. Anschließend wurde unter Rühren solange 10%ige Schwefelsäure zugetropft, bis sich alle Niederschläge aufgelöst haben. Man trennte die organische Phase ab und extrahierte die wäßrige Phase noch zweimal mit Ether. Die organischen Phasen wurden vereinigt und mit Wasser gewaschen und über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet. Man dampfte das Lösungsmittel ab und löste den Rückstand in 0,50 ml (6,0 mmol) Allylbromid auf. Dazu gab man eine Lösung von 80 mg (2,0 mmol) Natriumhydroxid und 17 mg (75 μmol) Benzyltriethylammoniumchlorid in 1 ml Wasser und rührte 16 h kräftig bei Raumtemperatur. Anschließend wurde mit 2 ml Wasser verdünnt und 2 ml Ether zugegeben. Man trennte die organische Phase ab und extrahierte die wäßrige Phase zweimal mit Ether. Die organischen Phasen wurden vereinigt, mit Wasser gewaschen und über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet. Man zog das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer ab und chromatographierte den Rückstand über Kieselgel mit Petrolether/Essigester im Verhältnis 4/1. Es wurden 6,9 mg eines farblosen hochviskosen Öls isoliert, das durch ^1H - und ^{13}C -NMR-Spektroskopie als das gewünschte Produkt identifiziert wurde. Ausbeute: 6,9 mg (9,5 μmol , 30% der Theorie).

Patentansprüche

1. Bor-haltige Verbindung, die die folgende allgemeine Formel (1) aufweist,



in der

Cb für ein Carboran ($\text{B}_{10}\text{C}_2\text{H}_{12}$),

R^2 und R^3 unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom oder einen organischen Rest und

R und R^1 unabhängig voneinander für ein Wasserstoffatom oder eine organische Gruppe stehen oder R und R^1 mit dem Kohlenstoffatom, an das sie gebunden sind, eine Carbonylgruppe bilden.

2. Verbindung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Carboran ein 1,2-Dicarba-closo-dodecaboran(12) ist.

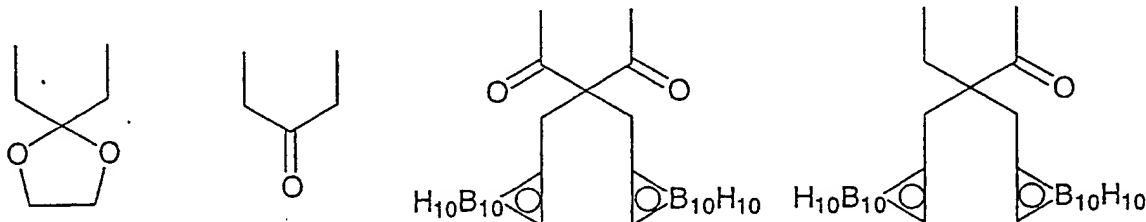
3. Verbindung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß an das Carboran ein Spacer und/oder eine Löslichkeitsmodulierende Verbindung gebunden ist.

4. Verbindung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Löslichkeitsmodulierende Verbindung Glucose ist.

5. Verbindung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß an eines bis an alle Carborane eine Löslichkeitsmodulierende Verbindung gebunden ist.

6. Verbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der organische Rest für R^2 und R^3 eine COOR^4 -Gruppe ist oder zusammen mit den Kohlenstoffatomen, an die sie gebunden sind, einen 6-gliedrigen Ring bilden, wobei R^4 ein Alkylrest ist.

7. Verbindung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß R^2 und R^3 zur Bildung des 6-gliedrigen Rings ausgewählt sind aus:



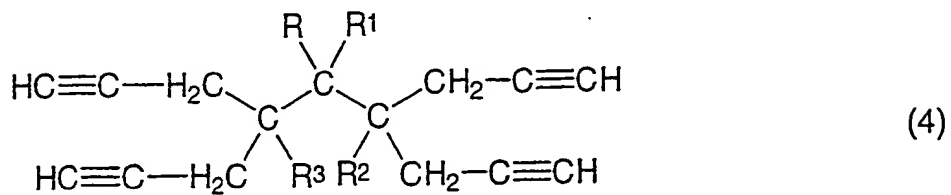
8. Verbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß die für R und/oder R^1 stehende organische Gruppe eine über eine Ether-Brücke gebundene C2 bis C10 Alkyl-Gruppe ist.

9. Verbindung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß eine Phosphatgruppe an die C2 bis C10 Alkylgruppe gebunden ist.

10. Verbindung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß ein Mono-, Oligo-, oder Polynukleotid an die Phos-

phatgruppe gebunden ist.

11. Verfahren zur Herstellung einer Verbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß ein Decaboran (14) mit einer Verbindung der Formel (4)



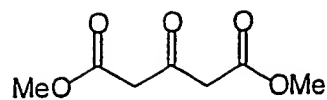
umgesetzt wird.

12. Verwendung einer Verbindung nach einem der Ansprüche 1 bis 10 als Bor-haltigen Marker für die energiefilternden Transmissionselektronenmikroskopie oder für die Bor-Neutroneneinfangtherapie zur Behandlung von Tumorerkrankungen.

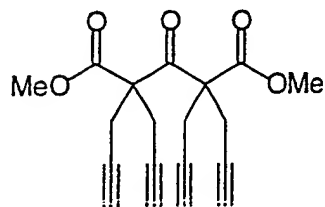
Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

Fig. 1

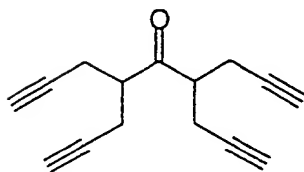


↓ 6 Äquivalente Propargylbromid,
4.2 Äquivalente NaOMe in abs. MeOH,
Rückfluß, 6h, Ausbeute 71% [5]



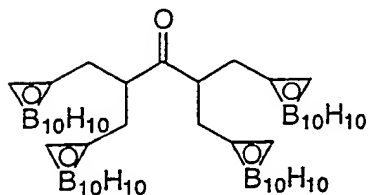
(a)

↓ 8 Äquivalente Lil in 2,4,6-Collidin
180°C, 90 min, Ausbeute 60% [6]



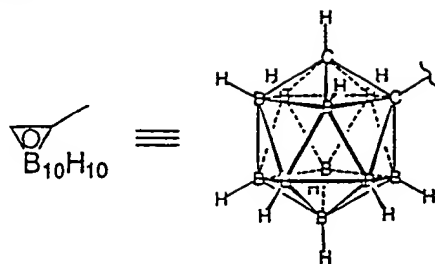
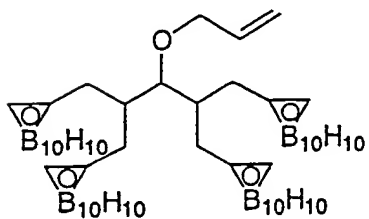
(b)

↓ 8 Äquivalente Decaboran(14) in
Toluol/Acetonitril 80-110°C, 48h,
Ausbeute 15% [7]



(c)

↓ 1.) Reduktion mit LiAlH₄
2.) Allylbromid / wäßrige NaOH
Et₃BnCl / Phasentransferkatalyse
Ausbeute über 2 Schritte: 30%



(d)